

ESTUDIO DEL ENSAYO NO DESTRUCTIVO ULTRASÓNICO APLICADO A LÍNEAS DE TUBERÍA SUBMARINAS EN MANTENIMIENTO

JULIE CAROLINA SÁNCHEZ SARMIENTO



UNIVERSIDAD LIBRE

INSTITUTO DE POSGRADOS INGENIERÍA

ESPECIALIZACIÓN EN SOLDADURA

BOGOTÁ

2012

**ESTUDIO DEL ENSAYO NO DESTRUCTIVO ULTRASÓNICO APLICADO A LÍNEAS DE
TUBERÍA SUBMARINAS EN MANTENIMIENTO**

JULIE CAROLINA SÁNCHEZ SARMIENTO

**Trabajo de Grado como requisito para optar por el título de:
ESPECIALISTA EN SOLDADURA**

Director:

Ing. Héctor Fernando Rojas Molano

Firma:_____

**UNIVERSIDAD LIBRE
INSTITUTO DE POSGRADOS INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SOLDADURA
BOGOTÁ
2012**

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
ANTECEDENTES.....	11
JUSTIFICACIÓN	11
DELIMITACIÓN O ALCANCE	12
1. OBJETIVOS.....	13
1.1 GENERAL	13
1.2 ESPECÍFICOS	13
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1 ANTECEDENTES SOBRE LÍNEAS DE TUBERÍAS SUBMARINA.....	14
2.2 MARCO NORMATIVO.....	16
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	18
3. METODOLOGÍA	19
3.1. REVISIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO.....	20
3.2. PLANTEAMIENTO DEL PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN.	20
3.2. ENSAYO EXPERIMENTAL.	21
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	23
4.1 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE ESPESORES POR ULTRASONIDO CONVENCIONAL PARA LÍNEAS DE TUBERÍAS SUBMARINAS	23
4.1.1 OBJETIVO.....	23
4.1.2 ALCANCE	23
4.1.3 DEFINICIONES.....	23
4.1.4 PERSONAL	24
4.1.5 DOCUMENTOS DE REFERENCIA	24
4.1.6. PROCEDIMIENTO.....	25
4.1.6.1 CALIBRACIÓN DE LA MÉTRICA.	25
4.1.6.1.1 BLOQUES DE CALIBRACIÓN.....	25
4.1.6.1.2 VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN DE LA SENSIBILIDAD Y TRAZADO DE LA CURVA DE REFERENCIA	26

4.1.6.1.3 VERIFICACIÓN DE LA LINEALIDAD DEL EQUIPO	28
4.1.6.1.4 LINEALIDAD VERTICAL DE LA PANTALLA.....	28
4.1. 6.1.5 LINEALIDAD DEL CONTROL DE AMPLITUD	28
4.1.6.1.6 CALIBRACIÓN DE LOS ECOS.....	29
4.1.6.2 PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN	29
4.1.6.2.1 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE INSPECCIÓN	29
4.1.6.3. NIVEL DE SENSIBILIDAD DE BARRIDO.	30
4.1.6.4 PROCESO DE MEDICIÓN.....	30
4.1.7. CRITERIOS PARA EL REGISTRO Y EVALUACIÓN DE LAS INDICACIONES.....	30
4.2 REQUISITOS GENERALES PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN LÍNEAS DE TUBERÍAS SUBMARINAS.	32
4.3 REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS A NIVEL DE LABORATORIO.....	37
CONCLUSIONES.....	45
RECOMENDACIONES.....	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Característica del palpador de inmersión.....	22
Tabla 2. Variaciones del control de amplificación y límites de la indicación correspondiente.....	29
Tabla 3 número mínimo de preguntas.....	35
Tabla 4 requisitos de entrenamiento mínimo.....	35
Tabla 5. Parámetros de la calibración.....	40
Tabla 6. Datos escalerilla.....	41
Tabla 7. Parámetros de la calibración.....	43
Tabla 8. Datos probeta tubular.....	44

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura. 1 Construcción de curvas de referencia utilizando el bloque patrón.....	26
Figura. 2 Corrección por transferencia.....	27
Figura 3. Linealidad vertical.....	28
Figura 4. Probeta tubular.....	38
Figura 5. Representación esquemática adquisición datos en la escalerilla.....	39
Figura 6. Representación esquemática adquisición datos en la probeta tubular	42
Figura 7. Puntos de referencia.....	43
Figura 8. Puntos de referencia.....	43

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía. 1. Buzo realizando el ensayo de Partículas Magnéticas.....	36
Fotografía. 2. Escalerilla ASTM E797.....	37
Fotografía. 3. Probeta tubular.....	38
Fotografía. 4. Cuba de inmersión.....	39
Fotografía. 5. Palpador al borde de la escalerilla.....	40
Fotografía. 6. Imagen del eco.....	40

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. propiedades acústicas de los materiales.....	50
Anexo B. coeficientes de atenuación para varios materiales metálicos y no metálicos.....	51
Anexo C. reporte de los resultados.....	52
Anexo D. composición química probeta tubular.....	54

GLOSARIO

PALPADORES¹¹: Los palpadores están constituidos por un cristal piezoeléctrico insertado en una montura metálica con una parte libre por una membrana de caucho o una resina especial. En la actualidad existe una gran variedad del palpadores, debido a la gran diversidad de técnicas operatorias, entre los que podemos encontrar: Palpadores de incidencia normal, Palpadores de incidencia angular, palpadores de doble cristal, palpadores de Phased Array y Palpadores de TOFD.

TÉCNICA CONTACTO DIRECTO¹⁷: En este método el palpador está en contacto con la pieza a inspeccionar, utilizando una delgada capa de líquido como medio de acoplamiento. En algunos palpadores se utilizan lentes acústicos focalizadores o cuñas plásticas, superficies protectoras o de desgaste y membranas flexibles, montadas sobre la superficie del cristal. En esta técnica, el impulso inicial y la reflexión corresponde a la superficie de entrada se presentan sobrepuestas.

TÉCNICA INMERSION¹⁰: Esta técnica utiliza un transductor hermético a prueba de agua, colocado a cierta distancia de la pieza a inspeccionar y donde las ondas ultrasónicas se transmiten al material a través del agua, permitiendo el uso de cristales muchos más finos, de alta frecuencia. La distancias del agua queda representada en la pantalla del equipo como el espacio entre el pulso inicial y la reflexión proveniente de la superficie de entrada.

TÉCNICA REFLEXIÓN O PULSO ECO⁷: Esta técnica está basada en la reflexión del haz ultrasónico. La energía de excitación ultrasónica es aplicada al cristal en forma de pulsos cortos, repetidos con una frecuencia que permite al sistema detectar entre pulso y pulso la energía ultrasónica reflejada en cualquier discontinuidad existente en el interior del material o en superficies límite mismo.

INTRODUCCIÓN

Los ductos para conducción de hidrocarburos o para gas localizados en el mar, están expuestos a condiciones ambientales y operacionales que pueden llegar a ocasionarles daños; tal es el caso de la corrosión y deterioros producidos por agentes externos, entre los cuales se destacan las grietas, laminaciones, daños mecánicos, etc., todos estos detrimentos, van ocasionando un deterioro en la resistencia de la tubería.

La seguridad en la operación de dichas plataformas petroleras es de vital importancia, sobre todo cuando se detecta algún daño en un ducto, este deberá evaluarse de manera permanente, con el fin de determinar las acciones de mantenimiento correctivo o preventivo que sea conveniente, y que restablezcan el factor de seguridad, basándose en probabilidades de falla aceptados por la industria petrolera a nivel mundial y con el cual se garantice la integridad física y mecánica durante la vida útil de dicha tubería.

Los daños que son ocasionados en las tuberías generan altos costos económicos, especialmente cuando estos se encuentran sometidos a presiones. Las pérdidas de espesor que se encuentran por debajo de los límites permitidos del diseño, pueden llegar a generar explosiones, sin contar con las pérdidas de los sistemas, que en muchas ocasiones pueden provocar pérdidas en vidas humanas y causar deterioros severos en el medio ambiente.

La técnica no destructiva empleada para la evaluación de la pérdida de espesores en líneas de tuberías submarinas, es el ultrasonido por medio de la técnica de inmersión; esta aplicación puede llevarse a cabo mediante el uso de agua como medio de acoplamiento acústico entre el transductor y la pieza de prueba a estudiar, que a diferencia de las técnicas convencionales de ultrasonido de contacto, el transductor y la pieza pueden ser sumergidos total o parcialmente en un estanque con agua de tal manera que no se requiere de un contacto directo entre ellos, debido a que la onda ultrasónica viaja a través del agua hasta penetrar en la pieza

Con el desarrollo del presente proyecto se busca evaluar la aplicabilidad en la implementación del ensayo no destructivo de ultrasonido por inmersión, con el propósito de estimar las pérdidas de espesor en las superficies externas de las tuberías submarinas, de esta manera contribuyendo en el análisis de la integridad de estos.

ANTECEDENTES

El mantenimiento preventivo, es una de las actividades más importantes a nivel industrial, cuyo fin es la de asegurar la calidad del funcionamiento de bienes y servicios que proporcionan los materiales y estructuras dentro de los límites establecidos en su integridad.

Las actividades de mantenimiento preventivo, se programan a partir de las especificaciones o de los criterios que proporcionan los fabricantes, teniendo en cuenta las condiciones a las cuales estos materiales van a ser sometidos en su vida útil.

De allí surge la necesidad de realizar inspecciones mediante ensayos no destructivos, los cuales contribuyen a mantener el nivel de calidad uniforme y funcional de los sistemas y elementos, los cuales permiten la inspección del 100% de la producción o de lo que requiera por parte del cliente y/o el código contractual.

El ultrasonido es la técnica más empleada para la medición de espesores, detección de zonas con corrosión, detección de defectos en piezas que han sido fundidas y forjadas, laminadas o soldadas; en las aplicaciones de nuevos materiales ha tenido gran aceptación por la facilidad de su aplicación y desempeño como método de inspección para el control de calidad de los materiales.

JUSTIFICACIÓN

La necesidad surge de estudiar las condiciones severas provocadas por la Corrosión y los daños en las estructuras de instalaciones localizadas en altamar como ductos y plataformas, de lo cual se deriva un gran deterioro de la integridad estructural y consecuentemente una disminución de la vida útil de dichos componentes. Debido a lo anterior es importante realizar una evaluación no destructiva con el fin de lograr establecer las condiciones reales de un componente, en este caso tuberías, para de esta manera establecer posteriormente medidas correctivas necesarias en forma y tiempo; para este caso los ensayos no destructivos resultan ser una alternativa viable para este tipo de trabajos de una forma segura y precisa para la evaluación de las posibles discontinuidades que se puedan producir durante el servicio de los componentes.

DELIMITACIÓN O ALCANCE.

La presente investigación pretende proporcionar una guía para la realización del ensayo no destructivo mediante la técnica de ultrasonido por inmersión, teniendo en cuenta todos los requisitos generales para la realización de ensayos no destructivos a líneas de tuberías submarinas.

Este proyecto se diseñó para cubrir los requisitos y especificaciones que deben cumplir:

- El personal.
- Capacitación.
- Entrenamiento.
- Equipo de inspección y accesorios.
- Documentos de referencia.
- Variables de la técnica.
- Muestras a inspeccionar.
- Criterios de aceptación y rechazo.

Su aplicación sería responsabilidad del personal encargado designado de la planeación de un mantenimiento preventivo para líneas de tuberías submarinas.

Este estudio está enfocado únicamente para la realización y verificación del ensayo no destructivo mediante la técnica de ultrasonido de inmersión.

Con los resultados de este estudio se pretende proporcionar una estructura básica adecuada que cumpla con los procedimientos establecidos para la realización de la técnica de ultrasonido de inmersión.

1. OBJETIVOS.

1.1 GENERAL

- Establecer la aplicabilidad del ensayo No Destructivo de Ultrasonido por inmersión a líneas de tuberías submarinas.

1.2 ESPECÍFICOS

1. Plantear y aplicar procedimientos de inspección por ultrasonido por inmersión con el propósito de detectar pérdida de espesores, empleando palpador de incidencia normal.
2. Evaluar la simulación del ensayo de Ultrasonido en condiciones de inmersión.
3. Plantear los requisitos generales para la realización de ensayos no destructivos a líneas de tuberías submarinas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES SOBRE LÍNEAS DE TUBERÍAS SUBMARINA.

A continuación se hace mención de algunos estudios realizados a líneas de tuberías submarinas:

PRABA, k. et al (2002). “Caso estudio: Trabajos de aseguramiento en la fabricación para garantizar la integridad de las instalaciones costa afuera”. Este caso estudio revisa que la experiencia ha demostrado que alrededor del 25% de la inspección posterior y los mantenimiento durante la vida útil de una instalación en alta mar, los resultados de la mayoría de los defectos que se detectan ocurren durante la etapa de fabricación. Estos defectos están relacionados con los materiales, corrosión protección y recubrimientos, soldaduras y aspectos de QA / QC. Por ello es importante que los eventos que causan estos defectos y las prácticas de trabajo se entiendan de la mejor manera y sean más optimizados en el plan de Inspección, Reparación y Mantenimiento (IRM). La finalidad de estas revisiones y la planificación de un RBI son para la optimización de la inspección y el mantenimiento a largo plazo y la reducción de los gastos operativos durante la vida en campo. Este artículo resume las lecciones aprendidas de la revisión del diseño, la fabricación de vigilancia y el estudio de referencia las obras realizadas en instalaciones en alta mar fabricados en el sudeste de Asia. También se pretende demostrar la importancia de la vigilancia de la fabricación para garantizar la integridad de las instalaciones en alta mar.

WON-BAE NA, et al (2002). “Inspección de tuberías submarinas empleando ondas guiadas”. En esta investigación las Inspecciones submarinas de tuberías se llevaron a cabo utilizando las ondas ultrasónicas cilíndricas guiadas en el ambiente de un laboratorio. Tres tipos diferentes de defectos mecánicos y abolladuras son fabricados en un diámetro pequeño de 22,22 mm en tubos de prueba de aluminio. Para propagar eficientemente las ondas guiadas cilíndrica a través del tubo de aluminio en el agua, se empleó un dispositivo transductor que fue diseñado. El dispositivo cuenta con sensores ultrasónicos que generan compresión en las ondas ultrasónicas en el agua. El dispositivo puede cambiar el ángulo incidente llamativo del haz de 0 a 51 grados. Con la ayuda de este dispositivo, el ajuste del ángulo de incidencia y el barrido de frecuencia pueden realizarse fácilmente, para ello es necesario obtener la evolución temporal de las señales recibidas de diversos ángulos de incidencia y la frecuencia de la señal,

entonces se obtiene la gráfica V (f) de las curvas, o amplitud de la señal recibida frente a la frecuencia curvas, de ella se pueden estimar los defectos.

BAOHUA, S, et al (2008) "Tecnología de inspección de ultrasonido Phased Array empleado en soldaduras de juntas tubulares de estructuras de plataformas costa afuera". Este estudio se dirigió a la necesidad de la práctica de inspección de soldaduras de uniones tubulares de plataformas marinas, empleando ultrasonidos por etapas de inspección en un conjunto de estructuras. El experimento del conjunto modelo tubular se realiza con el sistema de inspección de ultrasonidos Phased Array; los defectos característicos son estimados a través del software del sistema. Los resultados del experimento demuestran que la el algoritmo de fases ultrasónicas del conjunto de inspección conjunto de estructuras es posible, y se podría detectar fallas en el conjunto modelo tubular.

QI ZHANG, et al (2008). "Evaluación de la corrosión de tubería Offshore basado en ultrasonidos". En este documento, un dispositivo inteligente de inspección ultrasónica para la tubería en alta mar inspecciona y evalúa la corrosión de tuberías costa afuera con un software que ha sido desarrollado para inspeccionar el estado del daño de las tuberías chinas. La función principal de la inspección es mediante un sistema de señales ultrasónicas de tratamiento previo, de adquisición de datos y datos de compresión en tiempo real. El sistema incluye un micro-ordenador, transductores, pre-procesamiento de circuito, procesador de señal digital (DSP), Field Programmable Gate Array (FPGA), dispositivo de almacenamiento, interfaz USB y otros componentes. El dispositivo puede expandirse a través de la tubería a ser inspeccionada, junto con el medio que se transporta en el mismo. Este documento también se explica el proceso de análisis de datos, la evaluación de la corrosión de tuberías costa afuera del software, incluyendo ejemplos de los datos registrados por el dispositivo de ultrasonidos para la detección inteligente de inspección de tuberías.

MOROS, A, et al (2009). "Aplicación de la técnica de ultrasonido para la estimación de la perdida de espesor en la superficie externa de una pieza tubular". Este trabajo presenta el estudio de la aplicación de la técnica de ultrasonido por inmersión para la estimación de la perdida de espesor en la superficie externa de escalerillas calibradas ASTM E797-05 (en milímetros y pulgadas) y de una probeta tipo tubular, empleando un transductor no focalizado. De este estudio se pudo comprobar que la técnica de ultrasonido por inmersión permite determinar los cambios de espesor de hasta 2 mm con una buena precisión en piezas planas (escalerillas), además es una herramienta adecuada para la determinación de pérdidas de espesor en la superficie de las probetas tubulares, presentando menor error en la determinación de pérdidas de espesores mayores al 20%.

BALLESTEROS, A, et al (2010). "Tecnología de ensayos no destructivos aplicados en ambientes marinos." Este paper cita las instalaciones localizadas en altamar como ductos y plataformas que están sujetas a condiciones severas provocando corrosión y daños en las estructuras; debido a lo anterior es importante establecer un programa de inspección y prueba a fin de lograr establecer las condiciones reales de cada componente y establecer las medidas correctivas necesarias en forma y tiempo, evitando así cualquier posible accidente que repercuta en algún desastre ecológico o en pérdidas humanas.

2.2 MARCO NORMATIVO.

- ADC - Consensus Standards for Commercial Diving Operations.
- API Publ 2201 – July 2003 / Procedures for Welding or Hot Tapping on Equipment in Service.
- API RP 1111 – July 1999 / Design, Construction, Operation, and Maintenance of Off-Shore Hydrocarbon Pipeline and Risers.
- API RP 2200 – May 1994 / Repairing Crude Oil, Liquefied Petroleum Gas and Product Pipelines.
- API Std 1104, November 2005 – Addenda July 2007 / Welding of Pipelines and Related Facilities.
- ASME B31.4 - 2006 / Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids.
- ASTM E 797-10 Standard Practice for Measuring Thickness by Manual Ultrasonic Pulse-Echo Contact.
- ASTM E1001 - 11 Standard Practice for Detection and Evaluation of Discontinuities by the Immersed Pulse Echo Ultrasonic Method Using Longitudinal Waves.
- ASTM E1065 - 08 Standard Guide for Evaluating Characteristics of Ultrasonic Search Units.
- ASTM E1316 - 11a Standard Terminology for Nondestructive Examinations.

- ASTM E214 - 01 Standard Practice for Immersed Ultrasonic Examination by the Reflection Method Using Pulsed Longitudinal Waves.
- ASTM E494 - 10 Standard Practice for Measuring Ultrasonic Velocity in Materials.
- ASTM E664 - 10 Standard Practice for the Measurement of the Apparent Attenuation of Longitudinal Ultrasonic Waves by Immersion Method.
- AWS D3.6M – 1999 / Specification for Underwater Welding.
- DNV-OS-C401 Fabrication and Testing of Offshore Structures.
- DNV-OS-F101 – January 2000 – Amended October 2005 / Submarine Pipelines Systems.
- DNV-RP-F104 – Mechanical Pipeline Couplings.
- DNV-RP-G103-11 Non-Intrusive Inspection.
- DOT – Code of Federal Regulations CFR - Title 49 - Part 195 – October 2006 / Transportation of Hazardous Liquids by Pipeline.
- IOH – M 13 - Manual de Hidrografía. PEMEX NRF-014-PEMEX-2006 – Febrero – 2007 / Inspección, Evaluación y Mantenimiento de Ductos Marinos.
- NORSOK STANDARD N-001-10 Integrity of offshore structures.
- PRCI PR-209-9122 – Diver Assisted Repair Manual.

2.3 MARCO CONCEPTUAL.

PALPADORES¹¹: Los palpadores están constituidos por un cristal piezoeléctrico insertado en una montura metálica con una parte libre por una membrana de caucho o una resina especial. En la actualidad existe una gran variedad de palpadores, debido a la gran diversidad de técnicas operatorias, entre los que podemos encontrar: Palpadores de incidencia normal, Palpadores de incidencia angular, palpadores de doble cristal, palpadores de Phased Array y Palpadores de TOFD.

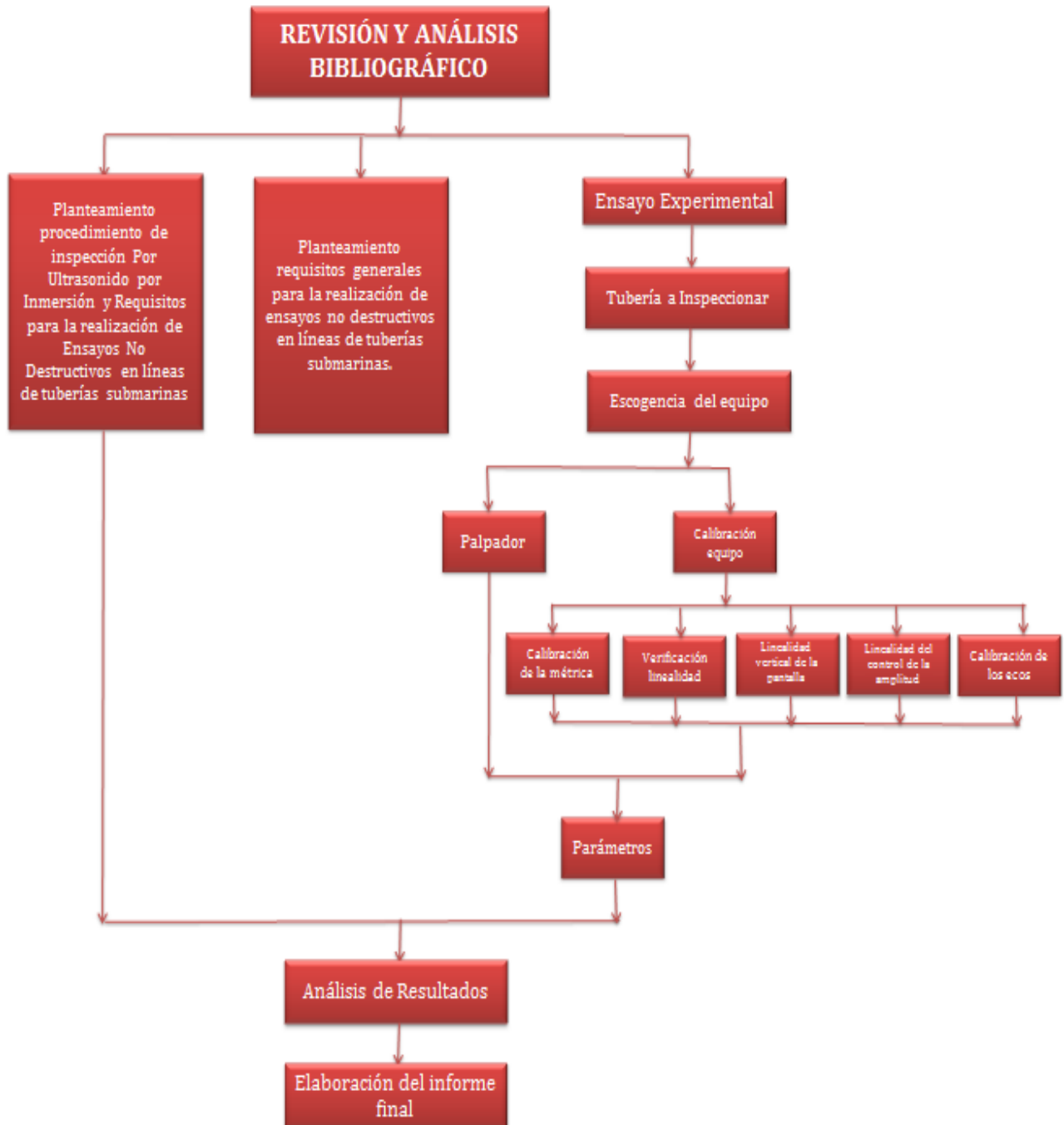
TÉCNICA CONTACTO DIRECTO¹⁷: En este método el palpador está en contacto con la pieza a inspeccionar, utilizando una delgada capa de líquido como medio de acoplamiento. En algunos palpadores se utilizan lentes acústicos focalizadores o cuñas plásticas, superficies protectoras o de desgaste y membranas flexibles, montadas sobre la superficie del cristal. En esta técnica, el impulso inicial y la reflexión corresponde a la superficie de entrada se presentan sobrepuestas.

TÉCNICA INMERSION¹⁰: Esta técnica utiliza un transductor hermético a prueba de agua, colocado a cierta distancia de la pieza a inspeccionar y donde las ondas ultrasónicas se transmiten al material a través del agua, permitiendo el uso de cristales muchos más finos, de alta frecuencia. La distancia del agua queda representada en la pantalla del equipo como el espacio entre el pulso inicial y la reflexión proveniente de la superficie de entrada.

TÉCNICA REFLEXIÓN O PULSO ECO⁷: Esta técnica está basada en la reflexión del haz ultrasónico. La energía de excitación ultrasónica es aplicada al cristal en forma de pulsos cortos, repetidos con una frecuencia que permite al sistema detectar entre pulso y pulso la energía ultrasónica reflejada en cualquier discontinuidad existente en el interior del material o en superficies límite mismo.

3. METODOLOGÍA

En el siguiente diagrama de flujo se enseñan las etapas que se llevaron a cabo en la realización de la presente investigación.



Fuente: La autora.

Una descripción detallada de cada una de las etapas se presenta a continuación:

3.1. REVISIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

Esta etapa se realizó con el fin de adquirir y afianzar conceptos que permitieran profundizar el conocimiento acerca de la técnica de ultrasonido, ensayos no destructivos, Inspección Basada en Riesgo, las estructuras offshore y demás temas que debían conocerse para el desarrollo de la presente investigación.

Esta fase se desarrolló durante todo el tiempo destinado para la realización de este proyecto y fue llevada a cabo de la siguiente manera:

En el inicio de la investigación se proporcionó información acerca de los métodos no destructivos que se llevan a cabo en las plataformas offshore, destacándose el tema del ensayo no destructivo ultrasónico, lo cual permitió entender los diferentes mecanismos de daños que pueden presentarse en dichas estructuras, por lo anterior este proceso permitió establecer la metodología que se llevaría a cabo para la realización del ensayo ultrasónico por inmersión que se adaptara a los objetivos planteados y así fijar el punto de partida del presente proyecto.

El desarrollo de la investigación brindó un conocimiento acerca de las características de los equipos y del ensayo a emplear en una tubería con un diámetro y espesor determinado.

El final de esta investigación permitió el conocimiento acerca de las variables que deben tenerse en cuenta al momento de la realización de dicho ensayo (diseño de la junta, espesor, dimensión de la pieza a inspeccionar, tipo de material, ambiente); así como también la idea de la creación de un procedimiento para desarrollar este tipo de ensayo en un ambiente submarino.

Esta etapa se efectuó mediante la recopilación y análisis de libros, artículos, tesis de grado, normas (NTC, ASTM, ISO, DNV), páginas WEB, entre otras relacionadas con los temas de interés de esta investigación.

3.2. PLANTEAMIENTO DEL PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN.

Esta fase se llevó a cabo con base con la revisión de la bibliografía, en donde se encontraron en diferentes normas y estándar, los requerimientos básicos que se

necesitan para la realización de un procedimiento de inspección por ultrasonido impulso eco de inmersión con haz normal.

Los procedimientos escritos para la realización de ensayos no destructivos, requieren por lo menos de los siguientes aspectos: el código o estándar correspondiente al ensayo, el método de soldadura (si aplica), geometría y dimensiones de la junta; material a inspeccionar, el método mediante el cual se llevaría a cabo el ensayo, la técnica, equipos principales y auxiliares, consumibles, técnica de calibración de los equipos, parámetros y variables de la prueba, evaluación de las imperfecciones, reporte y documentos de los resultados, referencia de los procedimientos de soldadura (si aplica), ejemplos de los formatos de reporte y criterios de aceptación.

Con base en los anteriores criterios se centrara la realización del procedimiento escrito para desarrollar un ensayo ultrasónico en un ambiente submarino.

3.2. ENSAYO EXPERIMENTAL.

En esta sección se presenta el procedimiento que debe llevarse a cabo para realizar el ensayo experimental ultrasónico por inmersión. Una vez recopilada y analizada la información bibliográfica se procedió a llevar a cabo el montaje adecuado para el ensayo. El laboratorio de ensayos no destructivos de Inspeq Ingeniería LTDA., cuenta con un equipo ultrasónico Krautkramer USM 35XS, el cual se empleó para llevar a cabo la presente investigación. Este equipo opera en un intervalo de frecuencias de 0.5 A 20 MHz y en una escala de calibración en la base del tiempo de 0.5 a 1400 (mm). Durante esta etapa se conocieron cada una de las funciones con las cuales funciona dicho equipo, que son fundamentales para el desarrollo de los ensayos de inmersión.

La calibración del equipo, se realizó siguiendo los procedimientos establecidos en el manual de operación de dicho equipo, esta se llevó a cabo por el modo de inmersión con el palpador con el que se contaba en el laboratorio, para cada una de las piezas a ser analizadas; se tuvieron en cuenta las diferencias en las velocidades del sonido tanto en agua como en el acero. En este proyecto el medio de acople empleado en las pruebas fue agua potable a temperatura ambiente.

En esta etapa, se realizaron pruebas para la evaluación de algunas características del equipo de ultrasonido, entre las cuales se encuentran la linealidad y límite vertical, límite horizontal y el control de la ganancia.

Las pruebas realizadas en el laboratorio se efectuaron empleando escaleras calibradas y probetas de tipo tubular. Inspeq Ingeniería LTDA. y la Universidad

industrial de Santander, cuenta con diferentes tipos de escalerillas calibradas de acero al carbono, con 5 pasos.

Dentro de los objetivos para el desarrollo de la presente investigación, es la de saber la aplicabilidad del ensayo ultrasónico en tuberías submarinas, por consiguiente, se procedió a medir la pérdida de espesor en la superficie externa de una pieza tubular, por lo cual se empleó un tramo de tubería de ACERO, empleado en la industria para el transporte de fluidos y gas en la industria de los hidrocarburos. La probeta presenta dimensiones de 20 cm de longitud.

En esta sección también se llevó a cabo la caracterización de los palpadores de inmersión, con los cuales cuentan Inspeq Ingeniería Ltda. Y la Universidad Industrial de Santander, para ello se tuvo en cuenta el diámetro del cristal, la frecuencia, el campo cercano entre la capa de agua del palpador y el acero. El palpador que se empleó en esta investigación fue un Magnaflux que cuenta con una frecuencia de 5 MHz, diámetro de 0.750 pulg.

FRECUENCIA MHz	DIÁMETRO (pulg)	CAMPO CERCANO EN AGUA (cm)	CAMPO CERCANO EN ACERO (cm)
5	0.750	30.65	7.8

Tabla N° 1. Característica del palpador de inmersión.

Como última parte de esta etapa, los resultados obtenidos a través de la técnica de ultrasonido por inmersión se compararon con la información disponible de los certificados de calibración de los patrones calibrados, los detalles de esta comparación de presentan en el análisis de resultados.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Esta sección presenta los resultados obtenidos más importantes en el desarrollo de la investigación, de acuerdo con las actividades propuestas en la metodología.

4.1 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE ESPESORES POR ULTRASONIDO CONVENCIONAL PARA LÍNEAS DE TUBERÍAS SUBMARINAS

4.1.1 OBJETIVO

Este documento establece los requerimientos mínimos de inspección por ultrasonido convencional en la medición de espesores en tuberías de líneas submarinas.

4.1.2 ALCANCE

Este procedimiento es aplicable, a la inspección de líneas de tuberías submarinas y estructuras de acero (Mono boyas, Risers, estructuras de anclaje, carcasas de artefactos navales) que requieran una evaluación de pérdida de espesor por corrosión para encontrar defectos generados por servicio, la técnica aplica para:

- Aceros al carbono o de baja aleación con espesores mayores o iguales a 3/16 de pulgada.

La inspección se puede realizar en superficies con recubrimiento siempre y cuando la atenuación generada por este, permita establecer una señal de fondo “back Wall” bien definida.

4.1.3 DEFINICIONES

- **Barrido Lineal:** Barrido realizado desde la parte superior en una línea horizontal, con zapata plana.
- **B-Scan:** Técnica de escaneo con imagen que muestra la sección longitudinal de la pieza a través de la lectura continua del espesor de pared a lo largo del plano específico donde se realiza el barrido
- **Discontinuidad:** Pérdida de continuidad del material.
- **Discontinuidad Subsuperficial:** Discontinuidad que se localiza cercana a la superficie del material.
- **Encoder:** Sensor de posición electrónico-mecánico, que registra la posición lineal relativa de un equipo con respecto a un punto 0 de inicio.

- **Palpador:** Dispositivo electro-acústico usado para transmitir o recibir energía ultrasónica o ambos. El dispositivo generalmente consiste de una placa, conector, carcasa, respaldo, elemento piezoeléctrico, fase protectora, cristal o zapata.

4.1.4 PERSONAL

El personal que realiza la inspección e interpreta los resultados debe tener conocimiento de defectología, ensayos no destructivos, manejo de procedimientos, códigos, normas, estar certificado como inspector en ultrasonido nivel II, tener experiencia y estar calificado en base con la práctica recomendada ASNT TC 1^a, con calificación vigente en el método de ultrasonido.

El personal calificado y certificado como nivel I, podrá realizar la exanimación, siempre y cuando sea bajo la supervisión directa de un nivel II o III.

4.1.5 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Los siguientes documentos han sido tomados como referencia en la preparación de este procedimiento.

ASME SECC. V	<i>Non Destructive Examination</i>
ASME B.31.3	<i>Process Piping</i>
ASME B31.4 and	<i>Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons Other Liquids</i>
ASTM A 435	<i>Straight-Beam Ultrasonic Examination of Steel Plates</i>
ASTM A 578	<i>Straight-Beam Ultrasonic Examination of Plain and Clad Steel Plates for Special Applications</i>
ASTM E 114	<i>Standard Practice for Ultrasonic Pulse-Echo Straight Beam Examination by the Contact Method</i>
ASTM E 213	<i>Ultrasonic Examination of Metal Pipe and Tubing</i>
DNV OS-F101	<i>Submarine Pipeline Systems</i>

4.1.6. PROCEDIMIENTO

4.1.6.1 CALIBRACIÓN DE LA MÉTRICA.

Como operación previa al proceso de inspección es necesario proceder, en primer lugar, a una comprobación satisfactoria del estado de funcionamiento del equipo. Efectuado esto, es necesario realizar la calibración en su conjunto del equipo, palpador o palpadores, zapatas y cables de conexión que vayan a ser utilizados en el trabajo de inspección de que se trate. Esta calibración, de acuerdo con las recomendaciones establecidas en el código ASME (sección V, artículo 4), deberá repetirse siempre que se produzca cualquier variación en las condiciones en que inicialmente fue realizada.

4.1.6.1.1 BLOQUES DE CALIBRACIÓN

El espesor del bloque de calibración deberá ser igual o mayor al máximo espesor del componente a ser examinado. El material con que está construido el bloque debe ser igual o acústicamente equivalente al que se va a examinar. El acabado superficial de estos bloques será también equivalente al del componente de la inspección. El bloque de calibración deberá recibir por lo menos el mismo tratamiento térmico requerido para la especificación del material que se va a inspeccionar.

La calibración y verificación de la linealidad del sistema equipo-palpador se hará teniendo en cuenta:

- **Punto de emisión del haz ultrasónico.**

Este valor es fijado mediante la máxima indicación de la señal del palpador en el LCD o pantalla, donde se busca que la máxima señal no supere el 80% de FSH, y en una calibración que muestre la señal en la pantalla en la ubicación del 50% de la horizontal. Una vez fijado el punto de emisión del haz de ultrasonido, se hará una marca permanente que identifique claramente este punto. Esta calibración se hará en el bloque de calibración V1 y/o V2.

- **Angulo del palpador.**

La calibración del ángulo del palpador se hace en el bloque de calibración IIW V1 o V2, y para esta inspección se determina la profundidad del reflector de referencia como una función del recorrido del sonido y la ubicación de la señal en la pantalla en su

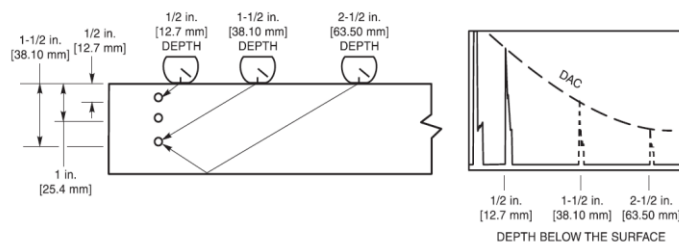
máxima altura y no mayor al 80% FSH. No se aceptaran diferencias mayores o menores de dos (2°) grados en los palpadores.

De llegarse a presentar una desviación en el ángulo del palpador mayor a dos (2) grados, este debe ser retirado hasta que sea corregido. A cambio se usa otro palpador de iguales características. Una vez sea corregida la desviación se hace una nueva verificación del valor real del ángulo, esta estabilidad de la amplitud debe ser demostrada antes de hacer una inspección.

4.1.6.1.2 VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN DE LA SENSIBILIDAD Y TRAZADO DE LA CURVA DE REFERENCIA

La construcción de las curvas de referencia para palpadores angulares, utilizando el bloque patrón según código ASME Sec V Art. 4 T-463.1.1 debe ser hecha como se indica en la Figura No.1 y siguiendo la siguiente secuencia.

- Posicionar el palpador sobre el reflector cilíndrico del bloque hasta obtener la mayor amplitud posible.
- Ajustar el control de la ganancia de modo que se obtenga para este agujero una indicación de 80% de la altura de la pantalla (FHS) y marcar el pico de esta indicación en la pantalla. Esta ganancia es la ganancia de referencia.
- Sin alterar la ganancia, posicionar el palpador hasta obtener los picos máximos de los demás agujeros, marcando sus respectivas amplitudes en la pantalla.



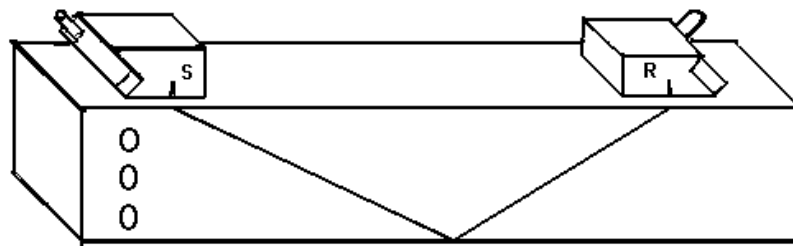
Fuente: AWS D1. Fig. S2

Fig. 1 Construcción de curvas de referencia utilizando el bloque patrón.

- Ligar las marcaciones para obtener la curva de referencia primaria, anotando el valor de la ganancia y el ángulo del palpador en la pantalla.
- Trazar la curva de 50% de la amplitud referenciada a la curva de referencia primaria, reduciendo la ganancia en 6 dB respecto a la ganancia primaria.

- Determinar la corrección por transferencia entre el bloque y el material a evaluar para obtener las diferencias entre las propiedades acústicas de cada material y así precisar la estandarización de la sensibilidad de la siguiente forma:

- Ubicar dos palpadores angulares del mismo ángulo de refracción sobre el bloque de calibración a una distancia igual al paso o recorrido sónico (ver fig. 4), buscando obtener la máxima envolvente o pico más alto y llevándola hasta el 80% de la altura del nivel de referencia con respecto a la pantalla; tomar la lectura de los dB en el equipo que fueron necesarios para llevar la envolvente a esta altura de referencia. Posteriormente ubique los palpadores en la zona adyacente a la soldadura del material a inspeccionar de igual forma que en el bloque, verificando antes con palpador normal para descartar reflectores tales como laminaciones que puedan interferir con la onda ultrasónica, lleve la envolvente al 80% de la pantalla y registre los dB positivos o negativos que fueron necesarios para llevar la indicación a la altura de referencia.



Fuente: AWS D1.1 (S-4)

Fig.2 Corrección por transferencia

- La diferencia entre los dB encontrados entre el bloque de calibración y la pieza a inspeccionar será la corrección por transferencia.
- Si al realizar la transferencia del bloque de calibración a la pieza a inspeccionar hay que aumentar el nivel de la envolvente para llegar hasta el 80% el valor de la transferencia es positivo, por el contrario si al hacer la transferencia se debe disminuir la altura de la envolvente para llevarla al 80% el valor de la transferencia es negativa.
- Es necesario realizar la corrección de transferencia así sea el bloque de calibración del mismo espesor de la pieza de ensayo.

4.1.6.1.3 VERIFICACIÓN DE LA LINEALIDAD DEL EQUIPO

La verificación de los requisitos de linealidad presentados a continuación se aplica únicamente a equipos osciloscopios, y no deberán exceder los tres meses para equipos análogos, ni un año para equipos digitales.

4.1.6.1.4 LINEALIDAD VERTICAL DE LA PANTALLA

Las variaciones de la señal en la vertical de la pantalla deben ser lineales, al menos, en un 80% de su altura útil. Esta altura se fijará tomando como origen la línea base de la pantalla. Para su comprobación se dispondrá de un palpador de haz normal sobre el bloque de calibración en la forma que se indica en la figura No 3, de modo que se observen en la pantalla un eco y su repetición. Se ajustará la posición del palpador de forma que la relación de las amplitudes de los dos ecos sea de 2 a 1 y se ajustará el aparato para que la amplitud del mayor de los dos ecos cubra el 80% de la altura de la pantalla. Sin mover el palpador, se ajustará la sensibilidad o ganancia haciendo variar la altura del eco mayor, desde el 100 al 20% de la altura total de la pantalla, e incrementando en un 10% o de 2 en 2 dB. En cada posición, la altura del eco debe ser igual al 50% de la del mayor con un error máximo de $\pm 5\%$ de la altura total de la pantalla.

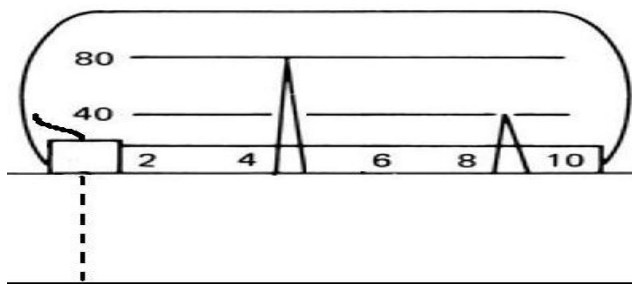


Figura No 3. Linealidad vertical

Fuente: ASME Secc. V

4.1. 6.1.5 LINEALIDAD DEL CONTROL DE AMPLITUD

Su comprobación se llevará a cabo disponiendo del palpador de haz normal como se indica en la figura No 1, de tal forma que la reflexión de la pared de fondo del bloque (primer eco) alcance el extremo de la pantalla. Con los aumentos y disminuciones del control de atenuación que se señalan en la tabla No 2, las indicaciones deben quedar dentro de los límites que se especifican en la misma.

% DE LA ALTURA DE LA PANTALLA QUE ALCANZA LA INDICACIÓN	DB DE CAMBIO EN EL CONTROL DE LA ATENUACIÓN	LÍMITES DE LA INDICACIÓN EN %DE LA ALTURA DE LA PANTALLA
80%	-6 dB	32 – 48%
80%	-12 dB	16 – 24%
40%	+6 dB	64 – 96%
20%	+12 dB	64 – 96%

Tabla No 2. Variaciones del control de amplificación y límites de la indicación correspondiente

Fuente: Ibíd.

4.1.6.1.6 CALIBRACIÓN DE LOS ECOS

- 1) Ubicar el palpador en el bloque de calibración del equipo, verificar y/o ajustar al espesor del patrón.
- 2) Hacer la medición del espesor en un bloque patrón de calibración de espesor conocido.
- 3) De no ser la lectura igual al valor del espesor del material medido repetir los pasos anteriores hasta obtener un valor de espesor igual al bloque de calibración y/o espesor conocido.
- 4) Hacer los pasos anteriores siempre que el equipo se encienda, cuando se cambie de palpador.
- 5) Una vez verificada la calibración del equipo se pueden realizar las mediciones

4.1.6.2 PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN

4.1.6.2.1 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE DE INSPECCIÓN

La superficie identificada debe estar libre de pinturas, grasas o recubrimientos de tipo epóxicos, así como de salpicaduras de soldadura y de todo accesorio que interfiera con el libre desplazamiento del palpador sobre la superficie de inspección.

Limpieza : En caso de no cumplir con los requerimiento dados en el apartado anterior, la superficie de inspección debe ser limpiada por métodos alternativos mecánicos como gratas de acero manuales o rotativas, pulidora etc. para su preparación, de modo que no generen daño en la superficie del material y/o en su estabilidad.

4.1.6.3. NIVEL DE SENSIBILIDAD DE BARRIDO.

El nivel de sensibilidad de barrido será desarrollado por la fijación de la ganancia de referencia como una función de la curva de calibración Distancia Amplitud Corrección (DAC) más 6 dB. Para evaluación de señales correspondientes a defectos en las soldaduras o material base, se restará la ganancia de sensibilidad de barrido. Una vez fijado el nivel de referencia y ganancia, no podrán hacerse modificaciones durante la inspección, solo se hará uso del sistema de atenuación (por incrementos o disminución de la ganancia). Una alteración en la calibración del recorrido del sonido requiere de una nueva calibración del nivel de referencia.

4.1.6.4 PROCESO DE MEDICIÓN.

Antes de iniciar el proceso de medición se deben tener bien definidos:

- Tipo de material a inspeccionar.
- Condiciones de iluminación (en caso de ser en recinto cerrado)
- Espesor nominal o de referencia.
- Un plano o secuencia donde se indique la ubicación de los puntos a medir.
- Estado de la superficie y limpieza.
- Área de medición y número de puntos por medida.

Durante el proceso de medición se debe tener en cuenta:

- La correcta indicación de acople entre el palpador y la superficie.
- La correcta lectura del valor del espesor. Esta indicación aparece cuando la señal de recibo e indicación del respectivo valor del espesor es constante en la pantalla del equipo mientras permanece en contacto el palpador con la superficie.
- La indicación de carga de las baterías. Al presentarse esta indicación en la pantalla se debe suspender la medición y hacer el respectivo cambio de las baterías. Una vez reemplazadas se debe calibrar el equipo y verificar contra el patrón de referencia.

4.1.7. CRITERIOS PARA EL REGISTRO Y EVALUACIÓN DE LAS INDICACIONES.

Nota: Para espesores menores de 3/4 in (6.35 mm) hasta 3/16 in (4.76 mm) incluido, se demostró con bloques de calibración fabricados según ASME Sección V artículo 4 fig. T-434.2.1 y bloques de verificación de sensibilidad según ASME Sección V artículo

4 fig. T- 434-3, la detección de indicaciones para estos espesores; aplicando para estos los mismos criterios de aceptación y rechazo utilizados para $t \leq 3/4"$.

4.1.7.3. Criterios de aceptación y rechazo según API 5L.

La cobertura de la inspección deberá ser \geq al 25% de la superficie de la tubería o si se llega a un acuerdo de cobertura menor por parte del cliente. (Tomado del código API 5L, numeral k.3.3).

ESPESOR DE PARED t mm (in)	TOLERANCIAS ^a t mm (in)
TUBERÍA SMLS ^b	
$\leq 4.0 (0,157)$	+ 0.6 (0.024)
	- 0.5 (0.020)
$>4.0 (0.157)$ hasta 25.0 (0.984)	+ 0.150 t
	- 0.125 t
$\geq 25.0 (0.984)$	+ 3.7 (0.146) o + 0.1 t cualquier que sea mayor
	- 3.0 (0.120) o - 0.1 t cualquier que sea mayor
TUBERÍA SOLDADA ^{c,d}	
$\leq 5.0 (0.197)$	+ 0.5 (0.020)
$> 5.0 (0.197)$ hasta 15.0 (0.591)	$\pm 0.1 t$
$\geq 15.0 (0.591)$	$\pm 1.5 (0.060)$

Fuente: API 5L TABLA N° 11

^a: si la orden de compra especifica una menor tolerancia para el espesor de pared menor que el aplicable por esta tabla, la mayor tolerancia para el espesor de pared deberá ser incrementado en una cantidad suficiente para mantener su rango de tolerancia aplicable.

^b: para tubería con $D \geq 355.6$ mm (14.000 pulg) y $t \geq 25.0$ mm (0.984 pulg), la tolerancia del espesor de pared local puede exceder la mayor tolerancia para el espesor de pared por una adición de $0.05t$, siempre que la mayor tolerancia para la masa no exceda.

^c: la mayor tolerancia para el espesor de pared no aplica para la zona de la soldadura.

^d: ver numeral 9.12.2 del código API 5L para mayores restricciones.

4.2 REQUISITOS GENERALES PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN LÍNEAS DE TUBERÍAS SUBMARINAS.

Dado a que la garantía de la inspección con pruebas no destructivas en líneas de tuberías submarinas depende en gran medida del personal responsable de la realización de la inspección, se han establecido ciertos lineamientos que deben ser alcanzados para la selección, capacitación, calificación y certificación del personal que efectúa la inspección o evalúa la defectología que puede encontrarse en métodos de pruebas tales como: Ensayo de ultrasonido, Ensayo por líquidos penetrantes o ensayo por Partículas Magnéticas.

CAPACITACIÓN: Esta consistirá en un programa previamente aprobado por un inspector Nivel III, de actividades teórico-prácticas, organizadas de tal manera que se impartan conocimientos y habilidades necesarias para la calificación en el ensayo no destructivo seleccionado por el candidato; este deberá aprobar un examen teórico-práctico por un promedio mínimo exigido y un número de horas determinado.

CALIFICACIÓN: Esta es la forma en cómo el operario documenta su habilidad, conocimientos, entrenamiento y experiencia. Esta puede estar basada en la práctica recomendada SNT TC-1A de la AMERICAN SOCIETY FOR NONDESTRUCTIVE TESTING (ASNT), la cual se encuentran los siguientes niveles de calificación:

- a) NIVEL I:** Un individuo certificado para Nivel I debe haber demostrado competencia para llevar a cabo END de acuerdo con las instrucciones de los END y bajo la supervisión de personal de Nivel II o Nivel III. Dentro del alcance de la competencia definida en el certificado, el personal Nivel I puede estar autorizado por el empleador para realizar las siguientes actividades, de acuerdo con las instrucciones de END:
- i. Hacer el montaje de equipos de END.
 - ii. Realizar los ensayos.
 - iii. Registrar y clasificar los resultados de los ensayos.
 - iv. Presentar informes sobre los resultados.
 - v. Realizar los ensayos dentro de los criterios de un trabajo seguro, cumpliendo las regulaciones y buenas prácticas de seguridad industrial en este tipo de servicios.
 - vi. Realizar los ensayos teniendo en cuenta los criterios y regulación de manejo ambiental, cumpliendo con la normatividad sobre control ambiental.

El personal certificado para Nivel I no será responsable por la selección del método o técnica de ensayo que se usen, ni por la evaluación de los resultados de ensayo.

b) NIVEL II: Un individuo certificado para Nivel II debe haber demostrado competencia para llevar a cabo END de acuerdo con procedimientos establecidos. Dentro del alcance de la competencia definida en el certificado, el personal Nivel II puede estar autorizado por el empleador para realizar las siguientes actividades:

- i. Seleccionar la técnica de END para el método de ensayo que se va a usar.
- ii. Definir las limitaciones de la aplicación del método de ensayo.
- iii. Traducir los códigos, normas, especificaciones y procedimientos de END a instrucciones de END adaptadas a las condiciones de trabajo reales.
- iv. Hacer el montaje y verificar el reglaje de los equipos.
- v. Realizar y supervisar ensayos.
- vi. Interpretar y evaluar los resultados de acuerdo con códigos, normas, especificaciones o procedimientos aplicables.
- vii. Preparar instrucciones de END.
- viii. Llevar a cabo y supervisar todas las tareas del Nivel II o por debajo de este.
- ix. Brindar orientación al personal de Nivel II o por debajo de este.
- x. Presentar los resultados de los ensayos no destructivos.
- xi. Preparar instrucciones para el desarrollo de un trabajo seguro y supervisar su cumplimiento.
- xii. Implementar, definir procedimientos y planes de manejo ambiental para disposición de residuos resultantes de los END y monitorear cumplimiento.

c) NIVEL III: Un individuo certificado para Nivel III debe haber demostrado competencia para llevar a cabo y dirigir operaciones de ensayos no destructivos para las cuales está certificado. Dentro del alcance de la competencia definida en el certificado, el personal Nivel III puede estar autorizado por el empleador para realizar las siguientes actividades:

- i. Asumir la responsabilidad plena por una instalación de ensayo o centro de examen y su personal.
- ii. Establecer, revisar que las instrucciones y procedimientos de END sean correctos tanto editorial como técnicamente, y validarlos.
- iii. Interpretar códigos, normas, especificaciones y procedimientos.
- iv. Designar los métodos de ensayo, procedimientos e instrucciones de END particulares que se van a usar.
- v. Llevar a cabo y supervisar todas las tareas a todos los niveles.
- vi. Proporcionar orientación para el personal de todos los niveles.
- vii. Especificar y aprobar procedimientos de trabajo seguro para cada uno de los ensayos.

- viii. Especificar, aprobar procedimientos y planes de control ambiental aplicables en cada uno de los ensayos.
- ix. Liderar el cumplimiento de las regulaciones en seguridad y control ambiental aplicables a END.

Las pruebas para verificar las capacidades y habilidades técnicas del Nivel I y II en Ensayos No Destructivos deben consistir de lo siguiente:

Exámenes de Nivel I y II: Los exámenes teóricos y prácticos realizados al personal, se efectuarán de conformidad con lo previsto en los programas de entrenamiento.

General: Un examen general será aprobado por un nivel III en END. La administración del examen estará de acuerdo con esta práctica y será a libro cerrado. El material de referencia como cartas, fórmulas, tablas y gráficos puede ser provisto por el Nivel III en END.

Específico: Un examen específico será aprobado por un nivel III en END. La administración será de acuerdo a esta práctica. El Nivel III en END determinará si los procedimientos apropiados, especificaciones, normas, manuales de Ensayos No Destructivos y/o secciones de código serán provistas.

El examen dirigirá varios ejemplos de equipos, procedimientos y técnicas de prueba que el candidato puede usar en la realización de sus deberes asignados. El número mínimo de preguntas requeridas por cada método y nivel están listadas en la Tabla N° 4.

Práctico: Un examen práctico será aprobado por un nivel III en END. La administración será de acuerdo esta práctica. El examen práctico constará de lo siguiente:

- i. **Nivel I:** El candidato demostrará habilidad usando el método de prueba no destructiva al cual aplica con el fin de examinar por lo menos una muestra para cada técnica a ser usada en el trabajo del candidato.
- ii. **Nivel II:** El candidato demostrará habilidad para desarrollar el método de prueba no destructivo aplicable en un examen a por lo menos una muestra por técnica y un mínimo de dos muestras por método incluyendo interpretación, evaluación y documentación de resultados del examen.

TABLA N°3 NUMERO MÍNIMO DE PREGUNTAS

MÉTODO ENSAYO NO DESTRUCTIVO	GENERAL		ESPECIFICO	
	NIVEL I	NIVEL II	NIVEL I	NIVEL II
ENSAYO POR ULTRASONIDO	40	40	20	20
PHASED ARRAY				30
MEDIDAS DE ESPESOR DIGITAL (SOLO SALIDA NUMÉRICA)		20		10
MEDIDA DE ESPESOR A-SCAN		30		15

Fuente: ASNT SNT TC-1A

El esquema de calificación del personal también puede ser basado en la norma ISO 9712, en la cual el candidato debe cumplir con los requisitos mínimos de visión y entrenamiento antes del examen de calificación y debe cumplir los requisitos mínimos para experiencia industrial, antes de la certificación. A su vez esta norma exige ciertos parámetros tales como:

TABLA N°4 REQUISITOS DE ENTRENAMIENTO MÍNIMO.

MÉTODO DE END	NIVEL I (Horas)	NIVEL II (Horas) INCLUYE NIVEL I	NIVEL III (Horas) INCLUYE NIVEL II
ENSAYO POR ULTRASONIDO	40	120	160

Fuente: Norma ISO 9712, 2005

NOTAS:

- Las horas de entrenamiento se basan en que los candidatos posean habilidades matemáticas básicas y conocimiento previo de los materiales y procesos. Si éste no es el caso, el organismo de certificación puede exigir entrenamiento adicional.
- Las horas de entrenamiento incluyen cursos tanto teóricos como prácticos.
- La duración del entrenamiento se puede reducir hasta en un 50 % cuando la certificación que se busca es limitada en la aplicación del método.

- El organismo de certificación puede aceptar una reducción de hasta el 50 % en el número total requerido de horas de entrenamiento, para candidatos que se hayan graduado de una institución de educación superior o universidad, o que hayan realizado al menos dos años de ingeniería o ciencias en una institución de educación superior o universidad.

Adicional a certificarse bajo alguno de los dos esquemas, el operador de ensayos no destructivos a nivel submarino deberá cumplir los requisitos generales para la certificación de inspectores submarinos, los cuales se encuentran contemplados en los documento CSWIP-DIV-7-98 Part 1, 4th Edition May 2012 y CSWIP-DIV-7-95 Part 2, 2th Edition April 2003.

En este documento se contemplan diferentes categorías para los buzos que participan en las inspecciones bajo agua, entre los que se encuentran: Buzos 3.1U y 3.2U, los cuales participan en la inspección de estructuras submarinas. Los buzos de categorías 3.3U y 3.4U, es para aquel personal que participa directamente en la inspección en general bajo el agua.

Cada una de las anteriores categorías deberá cumplir con requisitos tales como: requisitos de visión, requisitos de salud, evidencia del entrenamiento y competencia, examen escrito (general y específico), examen práctico, para el personal que va a realizar el ensayo no destructivo de ultrasonido, la aprobación del A-Scan, el cual consta adicionalmente de un cuestionario de 20 preguntas de opción múltiple, en un tiempo de 30 minutos para desarrollarlo, de un examen práctico de 40 minutos, el cual consiste en la calibración del equipo y en la determinación de las aéreas de laminación en un material que contiene defectología inducida.



Fotografía N° 1. Buzo realizando el ensayo de Partículas Magnéticas.

Fuente: <http://ccocoa.com/tag/submarinas/>

4.3 REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS A NIVEL DE LABORATORIO.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en la estimación de la pérdida de espesor en una probeta tubular, por medio de la técnica no destructiva de ultrasonido por inmersión.

Una vez establecidas las condiciones para llevar a cabo el ensayo, entre las cuales se destacan la selección del palpador y la evaluación de las características del equipo ultrasónico, se procedió a la toma de los datos.

CARACTERÍSTICAS DE LA ESCALERILLA.

Inspeq ingeniería Ltda., cuenta con escalerillas calibradas ASTM E797 de acero al carbono, con cinco pasos descendentes, la primera con dimensiones en milímetros que van desde 10 mm hasta 2 mm, tal como se puede observar en la fotografía N°2.



Fotografía N° 2. Escalerilla ASTM E797.

Fuente: La autora

CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA TIPO TUBULAR.

En el marco de los objetivos trazados al inicio de esta investigación, es la de saber la aplicabilidad del ensayo no destructivo de ultrasonido por inmersión en líneas de tuberías submarinas, por lo que para ello se empleó un tramo de tubería de acero API 5L GRADO X65, empleado en la industria para el transporte de fluidos y gas. La composición química de dicho material se encuentra en el Anexo D.

La probeta empleada en el ensayo presenta dimensiones de 20 cm de longitud. Presentando un espesor nominal de 9.0 mm.



Fotografía N° 3. Probeta tubular.

Fuente: La autora.

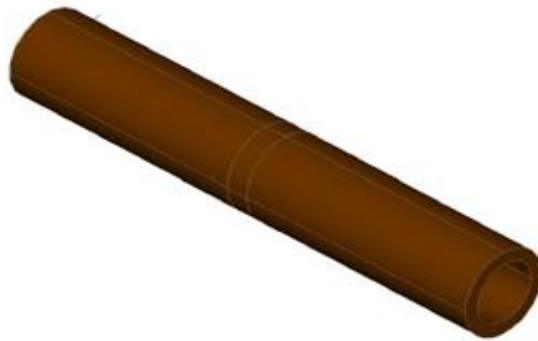
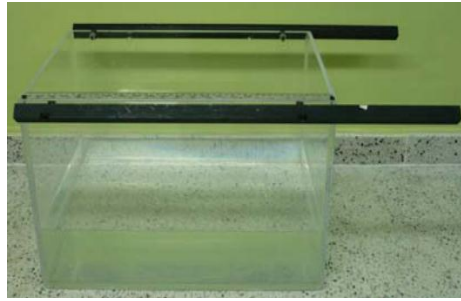


Figura N° 4. Probeta tubular.

CUBA DE INMERSIÓN.

Se contó con una cuba de forma rectangular, en la cual se ensayaron las piezas que se tuvieron en cuenta para la realización de la presente investigación (escalerilla y probeta tubular). La cuba se encuentra conformada de un acrílico transparente, el cual facilito la visualización en el desarrollo de las pruebas. Las dimensiones de la cuba son de 50 cm de ancho, 30 cm de alto y 31 cm de profundidad, lo cual permite un fácil desplazamiento del palpador que se empleó. En la parte superior cuenta con un par de guías triangulares de movimiento, el cual está conformado por un carro que permite realizar movimiento del palpador en los tres ejes, que este a su vez soporta un brazo mecánico de movimiento manual.



Fotografía N° 4. Cuba de inmersión.

Fuente: La autora

VARIACIÓN DE ESPESORES EN LA ESCALERILLA.

En la siguiente figura se presenta el diagrama del ensayo de ultrasonido empleado en la escalerilla ASTM E797, empleada para la prueba, el desplazamiento del palpador y la adquisición de los datos de realzio de forma manual.

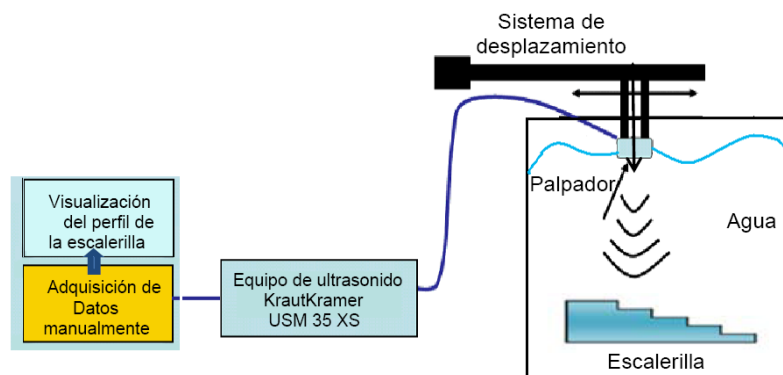


Figura N° 5. Representación esquemática adquisición datos en la escalerilla.

Fuente: La autora

Una vez colocada la escalerilla dentro de la cuba, se ubicó el palpador, se situó el palpador al comienzo del escalón de 10 mm, con lo cual se estableció el punto de partido. La distancia entre el palpador de inmersión y la pieza se calculó a partir de la ecuación N°1:

$$D = (6.35) + (10/4) = 8.85 \text{ mm.}$$

Ecuación N° 1. Determinación de la columna de agua

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETRÓLEO. Curso Ultrasonido Nivel II. ECOPETROL.

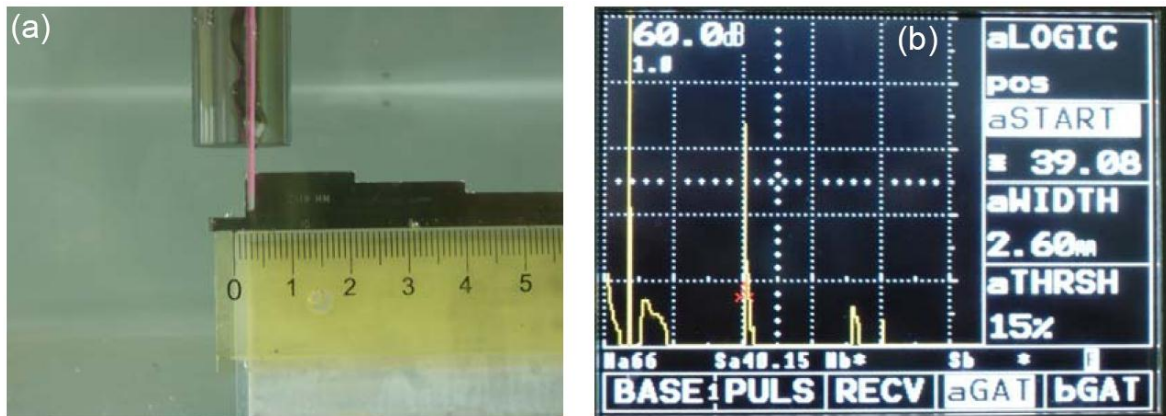
El total de 8.85 mm es el valor de la columna de agua obtenido, dado que es la mínima distancia permitida para evitar interferencias.

Una vez se estableció el valor de la columna de agua, se establecieron las condiciones para la calibración del equipo, las cuales se presentan en la tabla N°5:

TABLA N°5. PARÁMETROS DE LA CALIBRACIÓN.

VARIABLES	VALORES
Frecuencia	5 MHz
Ganancia	60 dB
Rango	90 mm
Velocidad	5940 m/s
Retardo del palpador	0.220 μ s
Retardo de la pantalla	0.01 mm
Tipo de onda	1/2 onda (+)

Fuente: La autora



Fotografía N° 5 y 6. (a) Palpador al borde de la escalerilla. (b) Imagen del eco.

Fuente: La autora

Una vez establecidos los anteriores parámetros en el equipo, se procedió a desplazar el palpador desde el escalón de 10 mm hasta el de 2 mm, no se realizó un desplazamiento aproximado en el eje Y. los resultados obtenidos en cada uno de los escalones de la escalerilla de prueba se muestran en la tabla N° 6.

TABLA Nº 6. DATOS ESCALERILLA

ESPESORES MEDIDOS EN LA ESCALERILLA					
ESCALÓN	MEDICIONES TOMADAS CON EQUIPO UT CONVENCIONAL		LECTURAS TOMADAS POR ULTRASONIDO POR INMERSIÓN		PORCENTAJE DE ERROR (%)
	Nº MEDIDA	ESPESOR (mm)	Nº MEDIDA	ESPESOR (mm)	
10 mm	1	10.01	1	9.9	1,10
	2	9.98	2	10.00	-0,20
	3	10.00	3	10.01	-0,10
	4	9.99	4	9.99	0,00
	5	10.02	5	10.00	0,20
8 mm	1	8.03	1	8.01	0,25
	2	7.99	2	8.00	-0,13
	3	8.00	3	7.99	0,12
	4	7.96	4	8.01	-0,63
	5	8.01	5	8.00	0,12
6 mm	1	6.04	1	6.01	0,50
	2	6.1	2	6.05	0,82
	3	5.98	3	6.01	-0,50
	4	5.99	4	6.00	-0,17
	5	6.01	5	5.99	0,33
4 mm	1	3.98	1	4.01	-0,75
	2	4.03	2	4.02	0,25
	3	4.01	3	4.00	0,25
	4	3.99	4	4.00	-0,25
	5	4.00	5	4.02	-0,50
2 mm	1	2.01	1	2.01	0,00
	2	2.00	2	2.03	-1,50
	3	1.99	3	2.00	-0,50
	4	2.01	4	1.99	1,00
	5	2.00	5	2.01	-0,50

Fuente: La autora

ESTIMACIÓN DE ESPESORES EN LA SUPERFICIE EXTERIOR DE LA PROBETA TUBULAR.

Una vez realizado el ensayo y comprobado la detección de las pérdidas en las escalerillas, se procede aplicar la técnica de ultrasonido por inmersión en la probeta tubular con la que se cuenta, para realizar una estimación de la pérdida del espesor de la superficie exterior. La probeta tubular se sumergió dentro del sistema de inmersión con el cual se contaba y se procedió hacer la lectura de espesores.

De igual forma que con la escalerilla, se determinó la distancia entre el palpador y la tubería (columna de agua), empleando la ecuación N°2:

$$D = (6.35) + (9.0/4) = 8.6 \text{ mm.}$$

Ecuación N° 2. Determinación de la columna de agua

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETRÓLEO. Curso Ultrasonido Nivel II. ECOPETROL.

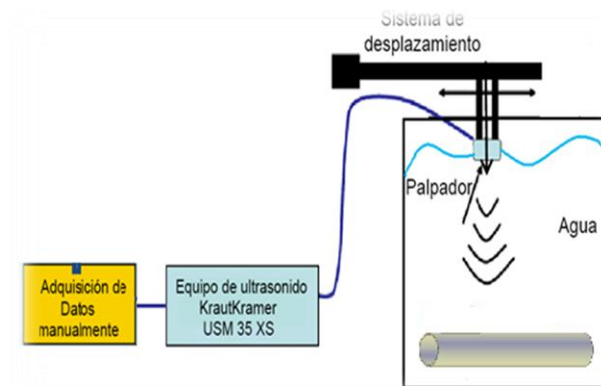


Figura N° 6. Representación esquemática adquisición datos en la probeta tubular.

Fuente: La autora

El espesor de la probeta tubular es de 9.5 mm, por lo que el valor obtenido de la columna de agua es 8.6mm, esta es la mínima distancia requerida para evitar algún tipo de interferencia en las medidas de la prueba.

Una vez se estableció el valor de la columna de agua, se establecieron las condiciones para la calibración del equipo, las cuales se presentan en la tabla N°7:

TABLA N°7. PARÁMETROS DE LA CALIBRACIÓN.

VARIABLES	VALORES
Frecuencia	5 MHz
Ganancia	76,5 dB
Rango	90 mm
Velocidad	5877 m/s
Retardo del palpador	0.230 μ s
Retardo de la pantalla	0.01 mm
Tipo de onda	1/2 onda (+)

Fuente: La autora

Como se puede observar en la tabla N°7 se aprecia un incremento en la ganancia con respecto al parámetro con el cual se trabajó para el ensayo que se realizó con la escalerilla, esto puede deberse a la atenuación de la señal como consecuencia de la rugosidad que presenta la superficie y la curvatura.

Una vez establecidos los anteriores parámetros en el equipo, se procedió a desplazar el palpador desde una distancia de 1 cm del extremo del niple de prueba, en esta prueba tampoco se realizó un desplazamiento aproximado en el eje Y. Los espesores se tomaron en 4 puntos de referencia como se puede observar en la figura 2. Los resultados obtenidos en cada uno de los escalones de la escalerilla de prueba se muestran en la tabla N° 8.

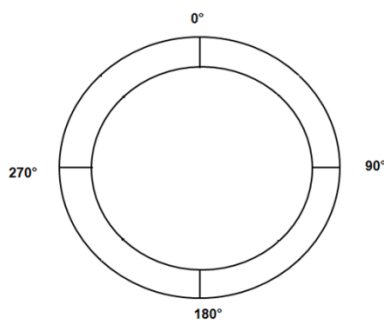


Figura N° 7. Puntos de referencia.

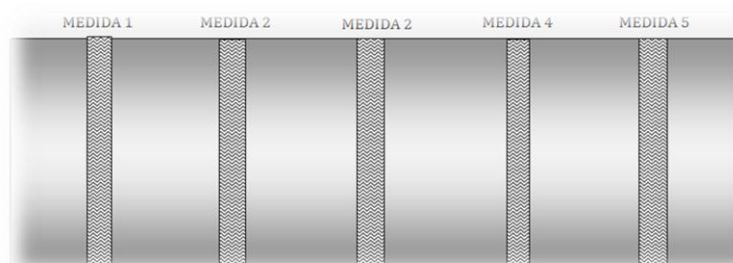


Figura N° 8. Puntos de referencia.

TABLA Nº 8. DATOS PROBETA TUBULAR

ESPESORES MEDIDOS EN LA PROBETA TUBULAR					
PUNTO REFERENCIA	MEDICIONES TOMADAS CON EQUIPO UT CONVENCIONAL		LECTURAS TOMADAS POR ULTRASONIDO POR INMERSIÓN		PORCENTAJE DE ERROR (%)
	Nº MEDIDA	ESPESOR (mm)	Nº MEDIDA	ESPESOR (mm)	
0°	1	8.66	1	8.64	0,23
	2	8.63	2	8.69	-0,70
	3	8.65	3	8.62	0,35
	4	8.67	4	8.66	0,12
	5	8.66	5	8.60	0,69
90°	1	8.60	1	8.61	-0,12
	2	8.61	2	8.59	0,23
	3	8.68	3	8.66	0,23
	4	8.69	4	8.65	0,46
	5	8.60	5	8.62	-0,23
180°	1	8.59	1	8.62	-0,35
	2	8.61	2	8.59	0,23
	3	8.58	3	8.60	-0,23
	4	8.60	4	8.58	0,23
	5	8.59	5	8.61	-0,23
270°	1	8.65	1	8.63	0,23
	2	8.66	2	8.62	0,46
	3	8.64	3	8.63	0,12
	4	8.68	4	8.67	0,12
	5	8.69	5	8.67	0,23

Fuente: La autora

CONCLUSIONES

- Con los datos obtenidos mediante las pruebas realizadas, se puede comprobar que la técnica de ultrasonido por inmersión para líneas de tuberías submarinas, es una técnica confiable en la evaluación de medición de pérdida de espesores a nivel externo.
- Se encontró también que el ensayo ultrasónico es uno de los métodos más rápidos, fáciles y seguros de aplicar, debido a que posee una gran exactitud en el momento de la evaluación de las condiciones de tuberías.
- Se encuentra que la repetitividad y confiabilidad de los ensayos no destructivos dependen en gran medida de los conocimientos y de la habilidad de los operadores que la realizan, de allí, nace la importancia de la calificación del personal bajo alguno de los dos programas internacionales que existen (ASNT o la ISO), ya que de ello depende el éxito de cualquier prueba no destructiva que se lleve a cabo, con el fin de asegurar resultados consistentes y aumente la confiabilidad de las mediciones.
- En base al planteamiento del procedimiento de inspección por ultrasonido, se verifica la importancia de su empleo en el momento de las inspecciones, debido a que es de gran ayuda para la obtención de resultados reproducibles, de igual manera evitando errores que podrían generarse debido al cambio del operador, modificación o avería del equipo, influencias del clima, parámetros operaciones, condiciones de las piezas a inspeccionar entre otros.
- El control calidad juega un papel muy importante en los materiales, debido a que se puede realizar mediante ensayos no destructivos, con los cuales se pueden detectar defectología superficial, Subsuperficial e interna, por lo que el ultrasonido se destaca por tener ventajas tales como: que no necesita la destrucción del elemento a inspeccionar, la inspección puede realizarse en sitio, los equipos son portables y los resultados se conocen inmediatamente.

RECOMENDACIONES

- Realizar pruebas de ultrasonido por inmersión por medio de la técnica de inspección ultrasónica con arreglo de fase (Phased Array), empleando C-Scan, B-Scan y S-Scan Azimutal, con el propósito de encontrar defectos generados por servicio o en fabricación , tales como grietas, faltas de penetración, faltas de fusión, entre otras.
- Realizar pruebas ultrasónicas por inmersión, empleando probetas de tubería con recubrimientos.
- Realizar más investigaciones, estudiando tuberías con diferentes diámetros y espesores, diferente al que se empleó en la presente investigación, con el fin de poder establecer límites de evaluación confiables por medio de la técnica de ultrasonido por inmersión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) AMERICAN SOCIETY FOR NODESTRUCTIVE TESTING. Recommended Practice N° SNT-TC-1A. Non Destructive Testing. ASTN SNT-TC-1A-2011.
- 2) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. Standard Practice for Ultrasonic Pulse-Echo Straight-Beam Contact Testing. ASTM; 2010. ASTM E 114-10.
- 3) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. Standard Practice for Ultrasonic Testing of Metal Pipe and Tubing. ASTM; 2009. ASTM E 213-09
- 4) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. Standard Practice for Evaluating Performance Characteristics of Ultrasonic Pulse-Echo Testing Instruments and Systems without the Use of Electronic Measurement Instruments. ASTM; 2011 . ASTM E 317-11.
- 5) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. Standard Practice for Measuring Thickness by Manual Ultrasonic Pulse-Echo Contact Method.ASTM; 2010, ASMT E 797-10.
- 6) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. Standard Practice for Detection and Evaluation of Discontinuities by the Immersed Pulse-Echo Ultrasonic Method Using Longitudinal Waves. ASTM; 2011. 10 p. ASTM E 1001-11.
- 7) Ballesteros, A, J.L, Acevedo, Tecnologías de Ensayos No Destructivos aplicados en ambientes marinos. Corporación Mexicana de Investigación de Materiales, 2010.
- 8) Carvalho, A.A, Reliability of Nondestructive Test Techniques In The Inspection of Pipelines Used in the Oil Industry, 2008.
- 9) ECHEVERRIA, Ricardo. Ultrasonido. Universidad Nacional del Comahue. Facultad de ingeniería. Laboratorio de Ensayos No Destructivos. 2001. 89 p.
- 10) EUROPEAN TRAINING PROGRAMME FOR THE QUALIFICATION OF NDT PERSONNEL. Ultrasonidos. Manual de Estudios Niveles 1 y 2. Leonardo Da Vinci II.2004-2007.
- 11) INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETRÓLEO. Curso Ultrasonido Nivel II. ECOPETROL. 1996.
- 12) Jan V.D.E, Paper World Pipelines Brazil, 2009.
- 13) Karunakaran, P, Case Study: Fabrication Surveys In Ensuring The Integrity of Offshore Installations, Integrity Inspection Corrosion, 2005.
- 14) Manual de pruebas no destructives. Universidad Nacional, Bogotá, Octubre 2002.
- 15) Moles, M, Labbé, S, "Developments in Ultrasonic Phased Array Inspections of Pipeline Welds", Inspection Trends, AWS, Spring 2004, vol 7, No 2.
- 16) Moles, M, Dubé, N, "PipeWIZARD – Pipeline Girth Weld Inspections using Ultrasonic Phased Arrays", 2003

- 17) Moles, M, Labbé, S, "Ultrasonic Phased Array Inspection of Offshore Pipelines", 2007.
- 18) Moros, A, Figueroa, E. "Aplicación de la técnica de ultrasonido para la estimación de la pérdida de espesor en la superficie externa de una pieza tubular, 2009.
- 19) Qi Zhang, P.W, Corrosion Assessment of Offshore Oil Pipeline Based on Ultrasonic, 17th World Conference On Nondestructive Testing, 2008.
- 20) Shon, B, H, Wang, The Ultrasonic Phased Array Inspection Technology Used in Tubular Joint Welds of Offshore Platform Structures, 17th World Conference on Nondestructive Testing, 2008.
- 21) SOCIEDAD DE INGENIEROS METALÚRGICOS DE LA UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. Curso de Ultrasonido Nivel II, Medellín, Marzo de 1995.
- 22) Swar, L.K, Offshore Subsea Pipelines Inspection and Commissioning. Asian Institute of Technology, 2010.
- 23) Tian, W.M, Integrated Method For The Detection and Location of Underwater Pipelines, 2008.
- 24) Zumbrano P.J, T.B Kaspary, Offshore Pipeline Welding Process. Rio Pipeline, 2011.

ANEXOS

ANEXO A. PROPIEDADES ACÚSTICAS DE LOS MATERIALES

PROPIEDADES ACUSTICAS DE LOS MATERIALES				
MATERIAL	VELOCIDAD LONGITUDINAL EN [m/s]	VELOCIDAD LONGITUDINAL EN [m/s]	DENSIDAD EN [g/cm]	IMPEDANCIA ACUSTICA EN [g/cm.s]10E5
AIRE A 20°C	343			
ALCOHOL	1180		0.789	0.930
BAKELITA	2590		2.71	17.2
COBRE	4660	2260	8.93	41.6
QUARZO	5570	3520	2.60	14.5
GLICERINA	1920		1.260	2.42
ORO	3240	1200	19.32	62.6
FUNDICIÓN	4800	2400	7.80	37.4
PLOMO	2160	700	11.4	24.6
MAGNESIO	6310		1 .74	11.0
MOLIBDENO	6290	3350	10.2	64.2
MONEL	6020	2720	8.83	53.2
NIQUEL	5630	2960	88.8	50
NITROGENO A 20°C	350		1.16E-3	0.000406
OXIGENO A 20°C	328		1.32E-3	0.000433
PLUTONIO	1790			28.2
POTASIO	1860		0.818	1.5
QUARZO NATURAL	5750		2.65	15.2
PLATA	3600	1590	10.5	37.8
SODIO	2530		0.296	2.3
ACERO 302	5660	3120	8.03	45.4
ACERO 347	5740	3090	7.91	45.4
ACERO 410	7390	2990	7.67	56.7
ACERO 1020	5890	3240	7.71	45.4
ACERO 1095	5900	3190	7.80	46
TANTALIO	4100	2900	16.6	54.8
ESTAÑO	3320	1670	7.29	24.2
TITANIO	6070	3110	4.50	27.3
TUNGSTENO	5180	2870	19.25	99.7
URANIO	3380	1960		64
AGUA A 20°C	1483		1	1.483
ZINC	4170	2410	7.10	29.6
ZIRCONIO	4650	2250	6.48	30.1

ANEXO B. COEFICIENTES DE ATENUACION PARA VARIOS MATERIALES METALICOS Y NO METALICOS.

Coeficiente de atenuación, dB/mm (dB/in)	Profundidad útil de inspección, m (ft)	Tipo de material inspeccionado
Bajo: 0.001-0.01 (0.025-0.25)	1-10 (3-30)	Metales fundidos: aluminio ^(a) , magnesio ^(a) . Metales rugosos: acero, aluminio, magnesio, níquel, titanio, tungsteno, uranio
Medio: 0.01-0.1 (0.25-2.5)	0.1-1 (0.3-3)	Metales fundidos ^(b) : acero ^(c) , fundición de alta resistencia, aluminio ^(d) , magnesio ^(d) . Metales rugosos ^(b) : cobre, plomo, cinc. No metales: carburos sinterizados ^(b) , algunos plásticos ^(e) , algunos cauchos ^(e) .
Elevado:>0.1 (>2.5)	0-0.1 (0-0.3)	Metales fundidos ^(b) : acero ^(d) , fundiciones de baja resistencia, cobre, cinc. No metales ^(e) : Cerámicas porosas, plásticos rellenos, algunos cauchos.
<p>(a) Puro o ligeramente aleado</p> <p>(b) Atenuación principalmente por dispersión</p> <p>(c) Carbón simple o ligeramente aleado</p> <p>(d) Altamente aleado</p> <p>(e) Atenuación principalmente por absorción</p> <p>(f) Excesiva atenuación puede inhabilitar la inspección.</p>		

ANEXO C. REPORTE DE LOS RESULTADOS.

Los resultados de inspección deberán ser presentados en formatos de reporte que contengan como mínimo la siguiente información:

- Información general.
- Fechas de inspección y de la elaboración del reporte de inspección.
- Nombre de la instalación.
- Fechas de la construcción y de inicio de operación de la instalación.
- Nombre o identificación y ubicación del elemento a inspeccionar.
- Nombres, niveles y firmas del inspector que elabora, revisa y aprueba el reporte.

DATOS OPERATIVOS Y DE DISEÑO:

- Tipo y temperatura del producto.
- Tipo de flujo del producto.
- Sistemas de protección del elemento.
- Diámetro y espesor nominal del elemento a inspeccionar.
- Presión de operación actual.
- Información sobre el procedimiento de inspección:
 - Nombre y N° del procedimiento de inspección empleado.
 - Marcas y modelos de los equipos y accesorios.
 - Tipo, dimensiones y frecuencia del transductor.
 - Angulo de la inspección
 - Accesorios especiales con especificaciones
 - Métodos de calibración
 - Bloques de calibración
 - Tipo de inspección
 - Condición superficial
 - Tipos de acoplantes.
- Resultados:
 - Espesor mínimo detectado en la zona libre de defectología
 - N° de identificación de las indicaciones relevantes.
 - Forma de las indicaciones.
 - Ubicación de las indicaciones relevantes
 - Profundidad, horario y distancia con respecto al punto de la línea de referencia.
- Dimensiones:
 - Largo, ancho y longitud radial, si aplica.

- Observaciones adicionales, según el criterio del inspector.
- Figuras:
 - Isométrico básico de la instalación superficial.
 - Fotografías de los elementos inspeccionados.

ANEXO D. COMPOSICION QUIMICA PROBETA TUBULAR.

COMPOSICION QUIMICA (CHEMICAL COMPOSITION)

ACERIAS DE LOS ANDES LTDA.
PIEZAS FUNDIDAS Y MAQUINADAS EN HIERROS Y ACEROS ESPECIALES

REPORT DE ANALISIS (ANALYSIS REPORT)
FECHA (DATE): 18/ENE/2012
FORM CQ-AA01

ALEACION (ALLOY): ACERO **NORMA (STANDARD):** AISI
PLANO (DRAWING): REF. **COLADA No. (MELT No.):** NA
CLIENTE (CUSTOMER): INSPEC INGENIERIA LTDA **ORDEN COMPRA (PO):** DI-025-2012
DESCRIPCION (DESCRIPTION): PROBETA CON METAL DE APORTE

COMPOSICION QUIMICA NORMA (STANDARD CHEMICAL COMPOSITION)

ELEMENT	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V
UNITS	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

COMPOSICION QUIMICA OBTENIDA (RESULT CHEMICAL COMPOSITION)

ELEMENT	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V
UNITS	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
AVGE	0.217	0.181	0.702	0.019	0.019	0.195	0.205	0.007	0.015	0.023

TRATAMIENTO TERMICO NORMA (STANDARD HEAT TREATMENT)

RECOCIDO ANNEALING ☐ TEMPLE QUENCHING ☐ REVENIDO TEMPERIN ☐ NORMALIZADO NORMALIZING ☐

TRATAMIENTO TERMICO OBTENIDO (RESULT HEAT TREATMENT)

RECOCIDO ANNEALING ☐ TEMPLE QUENCHING ☐ REVENIDO TEMPERIN ☐ NORMALIZADO NORMALIZING ☐

ANALISIS METALOGRAFICO NORMA (STANDARD METALOGRAPHIC TEST)

DUREZA (HARDNESS):
HRC ☐
HBN ☐

ESTRUCTURA (STRUCTURE):
☐

ANALISIS METALOGRAFICO OBTENIDO (RESULT METALOGRAPHIC TEST)

DUREZA (HARDNESS):
HRC ☐
HBN ☐

ESTRUCTURA (STRUCTURE):
NA

ACERIAS DE LOS ANDES

ELABORADO POR (PREPARED BY)
NIT 840 037 699-8

JEFE DE LABORATORIO (CHIEFLABORATORY)
[Signature]